

CAMBIOS EN DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE *Centropages brachiatus* (DANA, 1849) ENTRE 2016 Y 2017 FRENTE A LA COSTA CENTRO-NORTE DEL PERÚ

CHANGE IN THE DISTRIBUTION AND ABUNDANCE PATTERN OF *Centropages brachiatus* (DANA, 1849) BETWEEN 2016 AND 2017 IN FRONT OF THE CENTRAL-NORTHERN COAST OF PERU

David Torres¹Patricia Ayón¹Javier Castro¹Roberto Quesquén²David Correa¹

<https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.348>

RESUMEN

TORRES D, AYÓN P, CASTRO J, QUESQUÉN R, CORREA D. 2021. Cambios en distribución y abundancia de *Centropages brachiatus* (Dana, 1849) entre 2016 y 2017 frente a la costa centro-norte del Perú. *Bol Inst Mar Perú*. 36(2): 463-475.- Se analizan los cambios observados en la frecuencia, abundancia y distribución del copépodo calanoideo *Centropages brachiatus*, especie indicadora de aguas costeras frías (ACF), antes, durante y después del evento El Niño Costero 2017. Entre marzo 2016 y noviembre 2017 se realizaron 12 muestreos bio-oceanográficos frente a la zona costera de Lambayeque, se obtuvieron 84 muestras de zooplancton recolectadas con red Wp2 a nivel superficial en una sección perpendicular a la línea costera, hasta 50 mn, entre la caleta San José y las islas Lobos de Afuera. Entre enero 2016 y diciembre 2017 se realizó el muestreo frente a Chicama en una estación oceanográfica fija a 10 mn de distancia a la costa. *C. brachiatus* fue observado durante todo el año 2016 tanto frente a Lambayeque como frente a Chicama, con abundancias que alcanzaron 3.957 ind.100 m⁻³ y 215.478 ind.100 m⁻³, respectivamente. En cambio, durante 2017, esta especie no fue registrada en ninguno de los muestreos realizados frente a Lambayeque (desde abril hasta noviembre) y tampoco fue observada entre febrero y octubre 2017 frente a Chicama. Se concluye que la intensidad del evento El Niño Costero 2017, con características particulares y valores extremos de algunas variables oceanográficas, como temperatura y salinidad, habrían afectado de manera significativa la población de *C. brachiatus* provocando su ausencia en la zona marino costera de Lambayeque y Chicama.

PALABRAS CLAVE: *Centropages brachiatus*, zooplancton, Niño Costero, Lambayeque

ABSTRACT

TORRES D, AYÓN P, CASTRO J, QUESQUÉN R, CORREA D. 2021. Change in the distribution and abundance pattern of *Centropages brachiatus* (Dana, 1849) between 2016 and 2017 in front of the Central-Northern coast of Peru. *Bol Inst Mar Peru*. 36(2): 463-475.- *Centropages brachiatus* is a copepod species indicator of cold coastal waters (CCW). We analyzed the changes in its frequency, abundance, and distribution pattern before, during, and after the 2017 coastal El Niño. Twelve bio-oceanographic samplings were conducted between March 2016 and November 2017 off Lambayeque. A total of 84 zooplankton samples were obtained between San José cove and Lobos de Afuera Islands. We used a WP2 plankton net to collect samples at surface level in a cross-shore section up to a maximum distance of 50 nm. Simultaneously, from January 2016 to December 2017, surveys were carried out in a fixed oceanographic station located 10 nm away from Chicama. In 2016, the abundances of *C. brachiatus* off Lambayeque and Chicama were 3,957 ind.100 m⁻³, and 215,478 ind.100 m⁻³, respectively, while in 2017, it was not recorded in any of the surveys conducted in those places. We can conclude that EN Costero had a strong impact on *C. brachiatus* population, due to particular characteristics and extreme values of some oceanographic variables, such as temperature and salinity, resulting in the complete absence of this species in Lambayeque and Chicama.

KEYWORDS: *Centropages brachiatus*, zooplankton, coastal El Niño, Lambayeque

1. INTRODUCCIÓN

La composición, así como la distribución espacial del zooplancton en determinadas zonas son moduladas, entre otros, por el patrón de circulación (local como regional) y procesos oceanográficos multiescalares que determinan las características físicas-químicas-biológicas en la columna de agua (GIRALDO y GUTIÉRREZ, 2007). Varios procesos hidrodinámicos

1. INTRODUCTION

The circulation pattern (local and regional) and multiscale oceanographic processes, among others, determine the physical-chemical-biological characteristics of the water column, which modulate the composition and spatial distribution of zooplankton (GIRALDO & GUTIÉRREZ, 2007). Several hydrodynamic processes were associated with spatial changes in

1 IMARPE, Laboratorio Costero de Lambayeque, dtorres@imarpe.gob.pe

2 IMARPE, Sede central

fueron asociados a los cambios espaciales tanto en abundancia como en composición del zooplancton y responden de acuerdo a la magnitud de variación de las condiciones físicas presentes (QUESADA y MORALES, 2006).

Para su estudio, el zooplancton puede definirse por la composición y abundancia relativa de los taxa constitutivos, puede asociarse a regímenes hidrográficos o masas de agua característicos (CLARCK *et al.*, 2001). La gran importancia de los organismos planctónicos como indicadores biológicos oceanográficos se asocia al desplazamiento de las masas de agua (BALECH y FERRANDO, 1964). A lo largo de la costa peruana *Centropages brachiatus* es de las especies más frecuentes y abundantes, reportada como indicadora de aguas costeras frías (ACF) propia del afloramiento costero por diversos autores (SANTANDER y SANDOVAL, 1981; CARRASCO y SANTANDER, 1987; AYÓN *et al.*, 1999).

De acuerdo a GONZÁLES & MARÍN (1998), la mayor abundancia de *C. brachiatus* se presenta cerca a la costa, particularmente en zonas de afloramiento costero y con mayor productividad primaria. Su población, así como de los copépodos, es regulada por procesos oceanográficos físicos del ecosistema marino (SINCLAIR, 1988), por ello, su ciclo de vida está en sintonía con características físicas del ambiente marino (MANN, 1986; CONOVER, 1988).

La zona marino-costera frente a Lambayeque se caracteriza por el predominio de ACF la mayor parte del año, con aproximaciones de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) y ocasionalmente, Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), estas avanzan hacia el sur en eventos cálidos de distinta magnitud. Por otro lado, la zona influenciada por la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC) se caracteriza por su alta variabilidad, y está condicionada por eventos de macroescala (El Niño) o mesoescala (proyección de AES en la capa superficial o arribo de Ondas Kelvin), que generan mayor proyección de la ESCC.

El Niño es el principal perturbador de gran escala que afecta la costa de Lambayeque (CASTRO *et al.*, 2015). Este tipo de eventos genera cambios en las condiciones oceanográficas del mar, produciendo alteraciones en procesos físicos, químicos y biológicos, alterando el comportamiento y los niveles poblacionales del plancton marino (ARNTZ y FAHRBACH, 1996). El evento El Niño Costero 2017 (ENC 2017) se desarrolló entre diciembre 2016 y mayo 2017, fue calificado de intensidad moderada por el calentamiento que indujo en la

both zooplankton abundance and composition. These processes respond according to the magnitude of variation of physical conditions present in the water column (QUESADA & MORALES, 2006).

Zooplankton can be defined by the composition and relative abundance of constituent taxa, and it can be associated with characteristic hydrographic regimes or water masses (CLARCK *et al.*, 2001). Its great importance as oceanographic biological indicators is associated with the displacement of water masses (BALECH & FERRANDO, 1964). Several authors have reported that *Centropages brachiatus*, which is an indicator of cold coastal waters (CCW) typical of coastal upwelling, is one of the most frequent and abundant species along the Peruvian coast (SANTANDER & SANDOVAL, 1981; CARRASCO & SANTANDER, 1987; AYÓN *et al.*, 1999).

According to GONZÁLES & MARÍN (1998), the greatest abundance of *C. brachiatus* occurs near-shore, mainly in coastal upwelling areas with greater primary productivity. Therefore, like all copepods, its population is regulated by the physical oceanographic processes of the marine ecosystem (SINCLAIR, 1988), so its life cycle is in tune with the physical characteristics of the marine environment (MANN, 1986; CONOVER, 1988).

Most of the year, CCW predominates in the coastal-marine area off Lambayeque, with approaches from Subtropical Surface Waters (SSW) and at times, Equatorial Surface Waters (ESW), which move southward during warm events. On the other hand, the zone influenced by the Cromwell Current Southern Extension (CCSE) is characterized by its high variability and is conditioned by macro-scale (El Niño) or mesoscale events (projection of ESW in the surface layer or arrival of Kelvin waves), resulting in a greater projection of the CCSE.

El Niño is the main large-scale disturbance affecting the Lambayequean coast (CASTRO *et al.*, 2015). It affects the oceanographic conditions of the sea, thus producing alterations in physical, chemical, and biological processes and changing the behavior and population levels of marine plankton (ARNTZ & FAHRBACH, 1996). the 2017 coastal El Niño (2017 CEN) occurred between December 2016 and May 2017. It was classified as a moderate intensity event, based on the warming it caused in the Niño 1+2 region, although, due to the damages and losses caused by rains and floods, it was considered the third most intense "EN phenomenon" in the last 100 years for Peru (ENFEN, *Informe Técnico Extraordinario* N° 001- 2017). The 2017 coastal El Niño, unlike previous events associated with the ENSO, showed its particular characteristics in its mechanisms of origin -in principle associated with the collapse of coastal winds-, development, and spatial coverage

región Niño 1+2, aunque por el impacto asociado a lluvias e inundaciones, se consideró el tercer “Fenómeno El Niño” más intenso de los últimos cien años para el Perú, (ENFEN, Informe Técnico Extraordinario N° 001- 2017). A diferencia de los eventos EN asociados al ciclo El Niño Oscilación del Sur, ENC 2017 presentó características propias en sus mecanismos de origen -asociados en principio al colapso de los vientos costeros-, desarrollo y cobertura espacial (ESPINOZA *et al.*, 2021), generando un calentamiento anómalo superficial de hasta 27,5 °C frente a Lambayeque (CORREA *et al.*, 2021; QUISPE *et al.*, 2021), así como un déficit significativo de la productividad en la zona costera.

En este contexto, el objeto del estudio fue determinar cambios en la frecuencia, abundancia y distribución del copépodo calanoideo *Centropages brachiatus*, especie indicadora de las ACF (AYÓN *et al.*, 1999), asociadas al afloramiento costero, antes, durante y después del evento ENC 2017 frente a la costa centro-norte del Perú.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los muestreos frente a Lambayeque se realizaron en doce prospecciones entre marzo 2016 y noviembre 2017 en una sección de 50 millas náuticas, entre la caleta San José (06°46’00’’S, 79°59’33’’W) e islas Lobos de Afuera (06°56’30’’S, 80°47’02’’W), a lo largo de siete estaciones bio-oceanográficas (Tabla 1, Fig. 1). No se lograron realizar muestreos en enero, febrero y marzo 2017. Mientras en el punto fijo frente a Chicama (7°49’12’’S, 79°41’24’’W), a 10 mn de la costa, fueron quincenales entre enero 2016 y diciembre 2017.

(ESPINOZA *et al.*, 2021). It generated an anomalous surface warming of up to 27.5 °C off Lambayeque (CORREA *et al.*, 2021; QUISPE *et al.*, 2021), as well as a significant deficit in productivity in the coastal zone.

Our study aims to determine changes in the frequency, abundance, and distribution pattern of the calanoid copepod *Centropages brachiatus*, which is a CCW indicator species (AYÓN *et al.*, 1999), associated with coastal upwelling, before, during, and after 2017 CEN off the Peruvian north-central coast.

2. MATERIAL AND METHODS

Between March 2016 and November 2017, sampling off Lambayeque was conducted in twelve assessments over a 50 nm section between San José Cove (06°46’00’’S, 79°59’33’’W) and Lobos de Afuera Islands (Table 1, Fig. 1). No sampling was carried out in January, February, and March 2017. On the other hand, between January 2016 and December 2017, sampling at the fixed point off Chicama (7°49’12’’S, 79°41’24’’W), located 10 nm offshore, took place every two weeks.

Tabla 1.- Estaciones de muestreo, ubicación geográfica, distancia a la costa y profundidad frente a San José

Table 1. Sampling stations, geographic location, distance to the coast and depth off San José

Estación	Latitud (°S)	Longitud (°S)	Distancia (mn)	Profundidad (m)
1	06°46’00’’	79°59’33’’	2	10
2	06°48’00’’	80°08’00’’	10	28
3	06°50’00’’	80°17’30’’	20	42
4	06°52’00’’	80°27’00’’	30	58
5	06°54’00’’	80°35’37’’	40	70
6	06°55’48’’	80°43’27’’	45	23
7	06°56’30’’	80°47’02’’	50	124

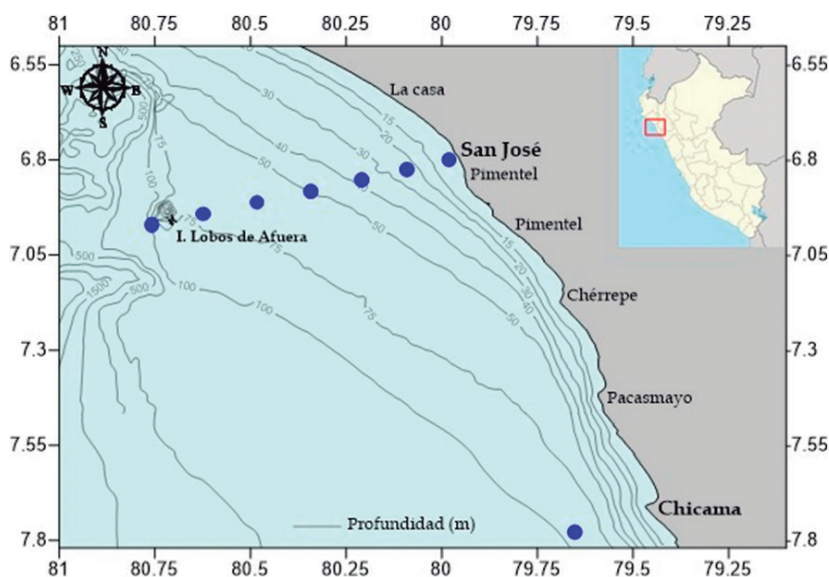


Figura 1.- Área de estudio y estaciones de muestreo

Figure 1. Study area and sampling stations

Se recolectaron muestras de zooplancton con una red cónica tipo WP2 con 50 cm de diámetro de boca y 300 micras de abertura de malla. Los arrastres superficiales duraron 5 minutos, con velocidad aproximada de 3 nudos. Las muestras se almacenaron en frascos de boca ancha de 350 mL debidamente etiquetadas, fijadas y preservadas con formaldehído al 4%. El volumen de agua filtrada se estimó con un medidor de flujo marca Hydro-Bios colocado en la boca de la red.

El análisis de las muestras de zooplancton se realizó en el Laboratorio Costero de Santa Rosa, donde se determinaron y cuantificaron los taxa. Para la determinación específica se revisaron trabajos de ALVARIÑO (1957), BOLTOVSKOY (1999), BOWMAN & GRUNER (1973), MORI (1964), VIDAL (1968), entre otros.

La abundancia de especies se dio en ind.100 m⁻³. Los biovolúmenes de zooplancton se obtuvieron con el método del desplazamiento (ROBERTSON, 1970), sus valores se expresaron en mL.100 m⁻³.

En cada estación se registró la temperatura y se recolectaron muestras de agua para determinar su salinidad tanto a nivel superficial (SSM) como en la columna de agua. Para el registro de temperatura superficial del mar (TSM) se usó un termómetro de superficie, mientras para la columna de agua fue uno invertido. La determinación de la salinidad se realizó mediante el salinómetro Guildline Portasal.

Para un mejor análisis de condiciones oceanográficas frente a Lambayeque, se tomó en cuenta datos diarios de TSM y SSM de la estación costera fija frente a la caleta San José. También, datos del componente físico del medio marino, así como los ya mencionados, pero del modelo HYCOM (*Hybrid Coordinate Ocean Model*), en especial de períodos en los que no se realizaron muestreos en la zona (enero-marzo 2017). Este modelo de circulación oceánica general global, permite obtener información de temperatura, salinidad y corrientes marinas a una resolución espacial de 1/12° sobre 41 niveles verticales, desde la superficie hasta el fondo marino. Se realizaron análisis de correlación entre los datos *in situ* y del modelo para medir el grado de asociación entre estos.

Las anomalías térmicas del mar en la sección San José – islas Lobos de Afuera, se estimaron comparando la temperatura registrada *in situ* y la climatología mensual en el área de muestreo. Esta se determinó a partir de datos históricos (2001-2016) del laboratorio de oceanografía de IMARPE – Santa Rosa.

El proceso de información se realizó con el programa Excel 2013 y los gráficos se diseñaron con Surfer v.15.

A cone-shaped WP2 net with a 50 cm diameter mouth and 300-micron mesh opening was used to collect zooplankton samples. Surface trawls lasted 5 minutes, with an approximate speed of 3 knots. Samples were stored in properly labeled 350 mL wide-mouth bottles. Then, they were fixed and preserved with 4% formaldehyde. The volume of filtered water was estimated with a Hydro-Bios flow meter placed at the mouth of the net.

The Coastal Laboratory of Santa Rosa was responsible for the analysis of the zooplankton samples. The taxa were determined and quantified. For the specific determination, we reviewed the works of ALVARIÑO (1957), BOLTOVSKOY (1999), BOWMAN & GRUNER (1973), MORI (1964), VIDAL (1968), among others.

Species abundance was given in ind.100 m⁻³. Zooplankton biovolumen were obtained with the displacement method (ROBERTSON, 1970), while their values were expressed in mL. 100 m⁻³.

Temperature and water samples were collected at each station to determine salinity both at the surface level (SSS) and in the water column. A surface thermometer was used to record the sea surface temperature (SST), while an inverted thermometer was used for the water column. Salinity was determined using a Guildline Portasal salinometer.

Daily SST and SSS data from the fixed coastal station off San José cove were considered for a better analysis of oceanographic conditions off Lambayeque. Also, data from the physical component of the marine environment, as well as those already mentioned, but from the HYCOM model (*Hybrid Coordinate Ocean Model*), especially from periods when no sampling was conducted in the area (January-March 2017). This global general ocean circulation model provides information on temperature, salinity, and ocean currents at a spatial resolution of 1/12° over 41 vertical levels, from the surface to the seafloor. Correlation analyses were performed between *in situ* and model data to measure the degree of association between them.

The sea thermal anomalies in the San José - Lobos de Afuera Islands area was estimated by comparing the temperature recorded *in situ* and the monthly climatology in the sampling area. This was determined from historical data (2001-2016) provided by the IMARPE's oceanography laboratory - Santa Rosa.

We used Excel 2013 to process the information and Surfer v.15 to design the graphs.

3. RESULTADOS

Temperatura superficial del mar (TSM)

El Niño iniciado en 2015, tuvo su declive en 2016. Concluyó a mediados de año, marcando fuertes fluctuaciones entre condiciones frías y cálidas durante el segundo semestre. Así mismo, el 2017 destacó por el evento El Niño Costero; en la costa y desde inicios del año, se registraron temperaturas altas, propias de ese evento, que continuaron hasta agosto lejos de la costa (Fig. 2).

El 2016, en San José – islas Lobos de Afuera, la TSM media mensual varió entre 16,8 °C en septiembre y 23,5 °C en marzo (Fig. 3A); en ese periodo, siempre se encontraron por encima de las esperadas. Las anomalías térmicas fluctuaron entre +0,1 °C en setiembre y +1,6 °C en marzo (Fig. 3B). Frente a Chicama, a 10 mn, la TSM fluctuó de 16,3 °C en setiembre a 24,1°C en febrero; los valores más altos se registraron en el primer trimestre del año, detectándose anomalías térmicas entre 0,7 y 2,1 °C (Fig. 4A).

El 2017, y de acuerdo a los datos diarios de la estación San José, se presentaron altas anomalías térmicas promedio en enero (+1,7 °C), febrero (+4,3 °C) y

3. RESULTS

Sea Surface Temperature (SST)

El Niño 2015-2016 ended in mid-2016, with strong fluctuations between cold and warm conditions during the second half of the year. Likewise, 2017 was characterized by the recording of high temperatures on the coast from the beginning of the year, which continued until August far from the coast. This is what we recorded as coastal El Niño (Fig. 2).

The monthly mean SST at San José - Lobos de Afuera Islands in 2016 ranged from 16.8 °C in September to 23.5 °C in March (Fig. 3A), being always higher than expected during this period. Thermal anomalies ranged from +0.1 °C in September to +1.6 °C in March (Fig. 3B). Off Chicama, at 10 nm, the SST varied from 16.3 °C in September to 24.1 °C in February. The highest values were recorded in the first quarter of the year, with thermal anomalies ranging from 0.7 to 2.1 °C (Fig. 4A).

According to daily data from the San José station in 2017, high mean thermal anomalies occurred in January (+1.7 °C), February (+4.3 °C), and March

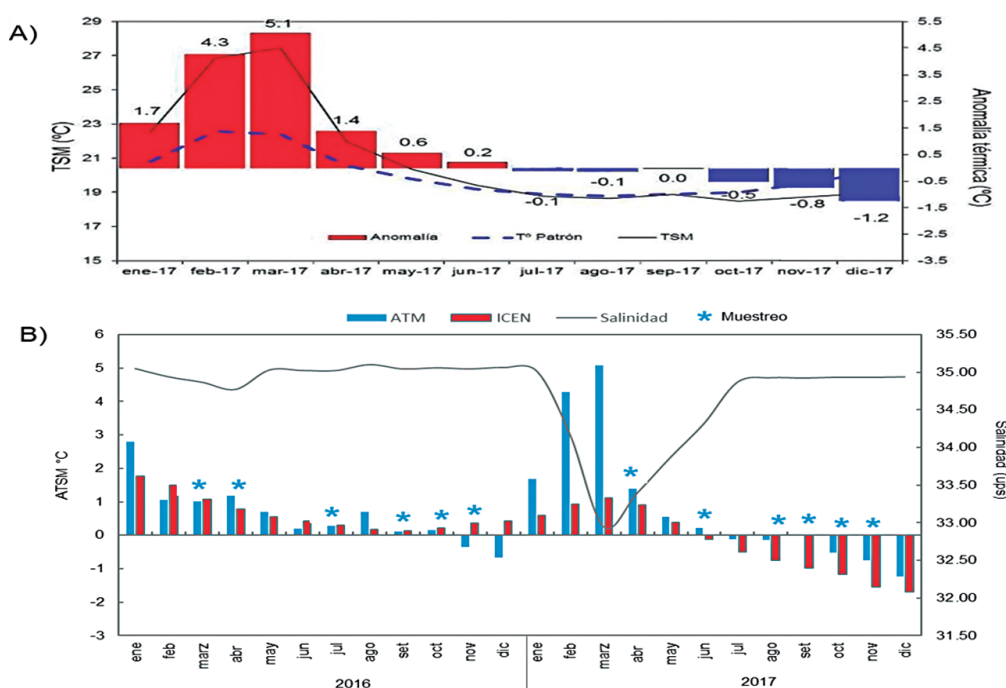


Figura 2.- (A) Serie de tiempo de la TSM registrada en la estación costera de San José, durante el 2017 (B) Anomalías térmicas-salinidad en la estación costera de San José y valores del ICEN durante el período 2016-2017

Figure 2.- (A) Time series of SST recorded at San José coastal station in 2017 (B) Thermal-salinity anomalies at San José coastal station and ENCI values during 2016-2017

marzo (+5,1 °C) (Fig. 2A). Ello evidenció la intensidad de cambios en procesos físicos a consecuencia de El Niño Costero. Hacia finales de ese año, se alcanzó una anomalía térmica de -1,2 °C. Desde abril 2017 en adelante, la temperatura superficial media del mar varió entre 16,0 °C en octubre) y 21,3 °C en abril. Durante ese período las temperaturas superficiales medias estuvieron por encima de las esperadas hasta agosto. La anomalía térmica promedio más alta fue +1,7 °C en junio. Mientras que, a 10 mn frente a Chicama, la TSM varió entre 28,7 °C en marzo y 16,0 °C en setiembre. Los valores más altos ($\geq 25,5$ °C) se obtuvieron entre la segunda quincena de enero y la segunda quincena de marzo; igualmente se alcanzó una anomalía máxima de +6,7 °C (Fig. 4A). A partir de abril disminuyó alcanzando sus valores más bajos entre agosto y setiembre.

(+5.1 °C) (Fig. 2A), thus evidencing the intensity of changes in physical processes caused by EN Costero. A thermal anomaly of -1.2 °C was reached by late 2017. From April 2017 onwards, the mean SST ranged from 16.0 °C in October to 21.3 °C in April. The mean SSTs during this period were above those expected until August. The highest mean thermal anomaly was +1.7 °C in June. On the other hand, 10 nm off Chicama, SST ranged from 28.7 °C in March to 16.0 °C in September. The highest values (≥ 25.5 °C) were obtained between mid-January and mid-March. Also, a maximum anomaly of +6.7 °C was reached (Fig. 4A), but from April onwards, it decreased, reaching its lowest values between August and September.

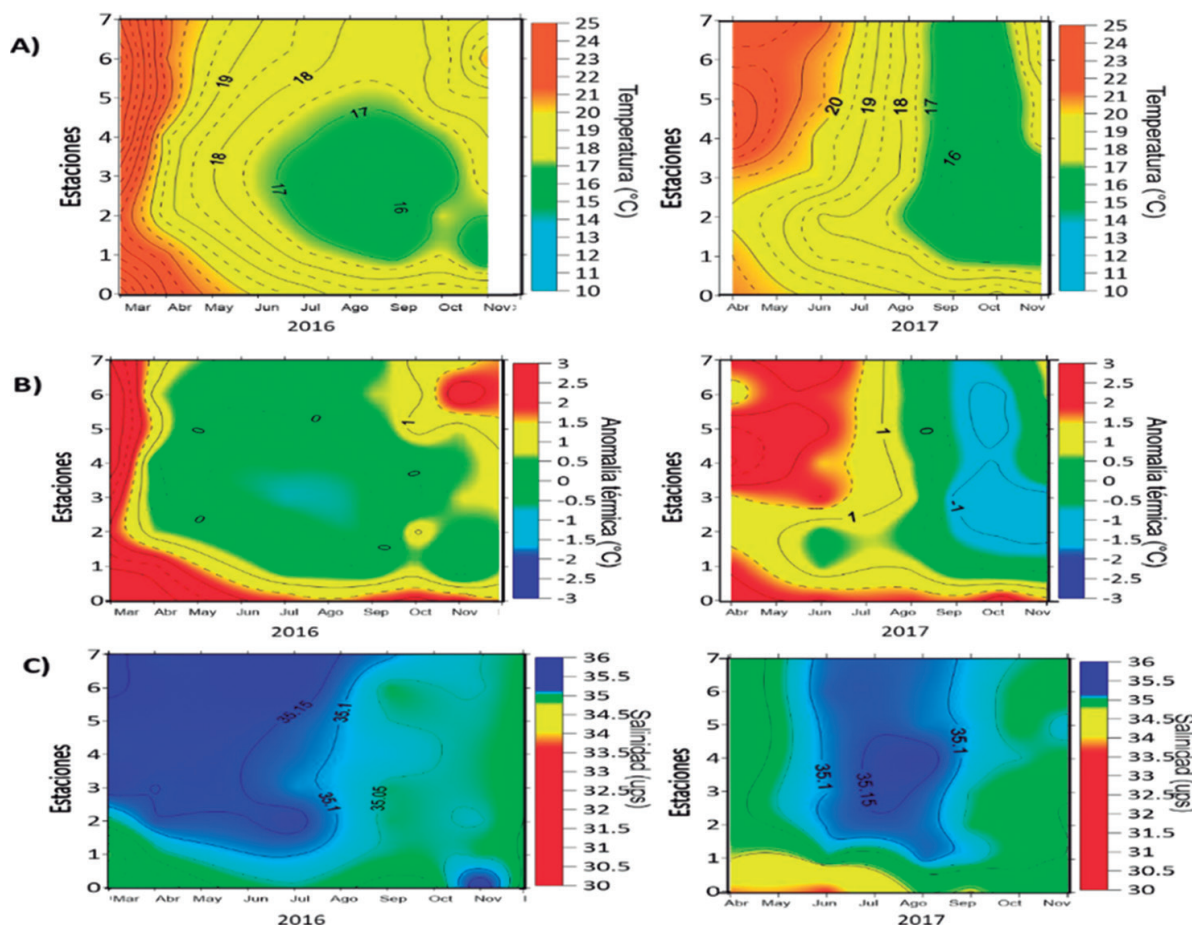


Figura 3.- Distribución espacio temporal de: A) La Temperatura Superficial del Mar (TSM), B) Anomalías de TSM, C) Salinidad Superficial del Mar, a lo largo del Perfil oceanográfico San José - islas Lobos de Afuera durante 2016 – 2017

Figure 3. Spatial-temporal distribution of: A) Sea Surface Temperature (SST), B) SST Anomalies, C) Sea Surface Salinity, along the San José - Lobos de Afuera Islands oceanographic profile during 2016 - 2017

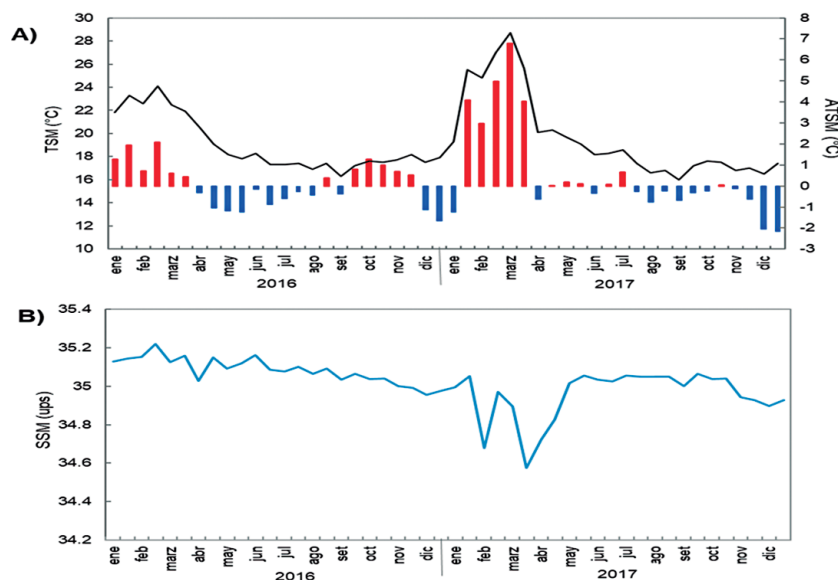


Figura 4.- Variación de la TSM – ATSM (A) y SSM (B) durante el período 2016-2017 en la estación fija de Chicama a 10 mn

Figure 4. Variation of SST - SSTA (A) and SSS (B) between 2016-2017 at Chicama fixed station (10 nm offshore)

Salinidad

La figura 2 B, muestra anomalías térmicas y concentraciones halinas mensuales promedio desde enero 2016, hasta diciembre 2017 en la estación San José, así como valores del ICEN (Índice Costero El Niño). Paralelo al incremento abrupto de la TSM en la costa de Lambayeque durante enero, febrero y marzo 2017, se produjo una rápida disminución de la salinidad superficial, registrándose los valores más bajos en febrero (34,134), marzo (32,994 ups) y abril (33,391), a consecuencia de la intromisión de AES, y el mayor aporte de agua dulce de los ríos que desembocan en el área.

En el 2016, en San José – islas Lobos de Afuera, los valores de salinidad superficial del mar (SSM) fluctuaron entre 34,827 ups a 2 mn y 35,228 ups a 50 mn, ambos en marzo (Fig. 3 C). El primero evidenció la presencia de AES mientras el segundo la ASS. En setiembre predominó ACF, con influencia de ASS lejos de la costa, y en noviembre prevaleció las ACF en toda el área de estudio.

En el 2017, en San José – islas Lobos de Afuera, los valores de SSM variaron entre 34,750 ups en abril y 35,189 ups en agosto. La prospección de abril mostró anomalías térmicas superiores a +2 °C fuera de las 25 mn de la costa, mientras los valores bajos de salinidad a 2 y 40 mn, sugiriendo una mezcla entre AES y ASS. Las ASS predominaron en los meses sucesivos, con valores superiores a 35,100 ups entre junio y agosto. Las ACF dominaron en setiembre, los meses posteriores interaccionaron con ASS lejos de la costa (Fig. 3 C).

Salinity

Figure 2 B shows thermal anomalies and mean monthly haline concentrations at the San José station, as well as ENCI (El Niño Coastal Index) values, from January 2016 to December 2017. There was a rapid decrease in surface salinity, with the lowest values recorded in February (34.134), March (32.994 PSU), and April (33.391), resulting from the intrusion of ESW and the greater contribution of freshwater from the rivers that flow into the area.

In March 2016, at San Jose - Lobos de Afuera Islands, sea surface salinity (SSS) values varied between 34.827 PSU at 2 nm and 35.228 PSU at 50 nm (Fig. 3 C). The former showed the presence of ESW while the latter evidenced the presence of SSW. CCW predominated in September, with the influence of SSW far from the coast, while in November, it prevailed throughout the study area.

In 2017, SSS ranged from 34.750 PSU in April to 35.189 PSU in August at San José - Lobos de Afuera Islands. The April survey showed thermal anomalies greater than +2 °C outside 25 nm offshore, while low salinity values occurred at 2 and 40 nm, suggesting the presence of mixing waters (ESW + SSW). In the following months, SSW predominated, with values above 35.100 PSU between June and August. CCW were predominant in September, while in subsequent months, they interacted with SSW far from the coast. (Fig. 3 C).

Frente a Chicama, el 2016, la SSM, tuvo tendencia decreciente de enero a diciembre, variando de 35,220 ups en febrero a 34,954 ups en diciembre. El siguiente año, la SSM varió entre 34,574 ups en marzo y 35,065 ups en setiembre (Fig. 4 B).

TSM y SSM del modelo HYCOM frente a Lambayeque

Comparar la TSM y SSM registrados en San José – islas Lobos de Afuera con los datos del modelo HYCOM, reveló buena correspondencia para casi todas las estaciones de muestreo de 2 a 50 mn durante 2016-2017. La variabilidad *in situ* de TSM en caso de la estación 2, ubicada a 10 mn de la costa, fue bien reproducida por HYCOM, aunque con sesgo sistemático de casi -0,2 °C. La SSM mostró la subestimación del modelo en abril y julio 2016, así como un sesgo positivo en octubre 2017. El resto del período, la diferencia entre los datos *in situ* y el modelo no fue significativa (<0,02 ups) (Fig. 5).

De acuerdo con HYCOM, se puede observar un incremento entre 8 y 9 °C de la TSM entre diciembre 2016 y marzo 2017, alcanzando valores cercanos a 28 °C. Entre febrero y marzo 2017, en la SSM se aprecia disminución de 35,2 a 34,9 ups. Aumentando paulatinamente a 35,1 ups entre otoño e invierno 2017. Cabe destacar que según HYCOM, la SSM presentó valores de hasta 35,3 ups en abril 2016 y, entre enero y febrero 2017 habría aumentado de 35,0 a 35,2 ups, evidenciando un acercamiento de ASS a la costa en la fase inicial de El Niño Costero 2017.

In 2016, SSS off Chicama had a decreasing pattern from January to December, ranging from 35.220 PSU in February to 34.954 PSU in December, while in 2017, it varied from 34.574 PSU in March to 35.65 PSU in September (Fig. 4 B).

SST and SSS of the HYCOM model off Lambayeque

We verified the good correspondence between the SST and SSS recorded in San José - Lobos de Afuera islands with the HYCOM model data for almost all the sampling stations from 2 to 50 nm during the study period. For example, regarding station 2, located 10 nm offshore, the *in situ* SST variability was well reproduced by HYCOM, albeit with a systematic bias of almost -0.2 °C. The SSS showed model underestimation in April and July 2016, as well as a positive bias in October 2017. For the remaining period, the difference between the *in situ* data and the model was not significant (<0.02 PSU) (Fig. 5).

According to HYCOM, we can observe an increase in the SST ranging from 8 to 9 °C between December 2016 and March 2017, reaching values close to 28 °C. Regarding SSS, there was a decrease from 35.2 to 34.9 PSU between February and March 2017, which gradually increased to 35.1 PSU between autumn and winter 2017. It should be noted that the HYCOM model showed values of up to 35.3 PSU in April 2016 and the SSS would have increased from 35.0 to 35.2 PSU between January and February 2017, showing a coastward approach of SSW at the beginning of 2017 CEN.

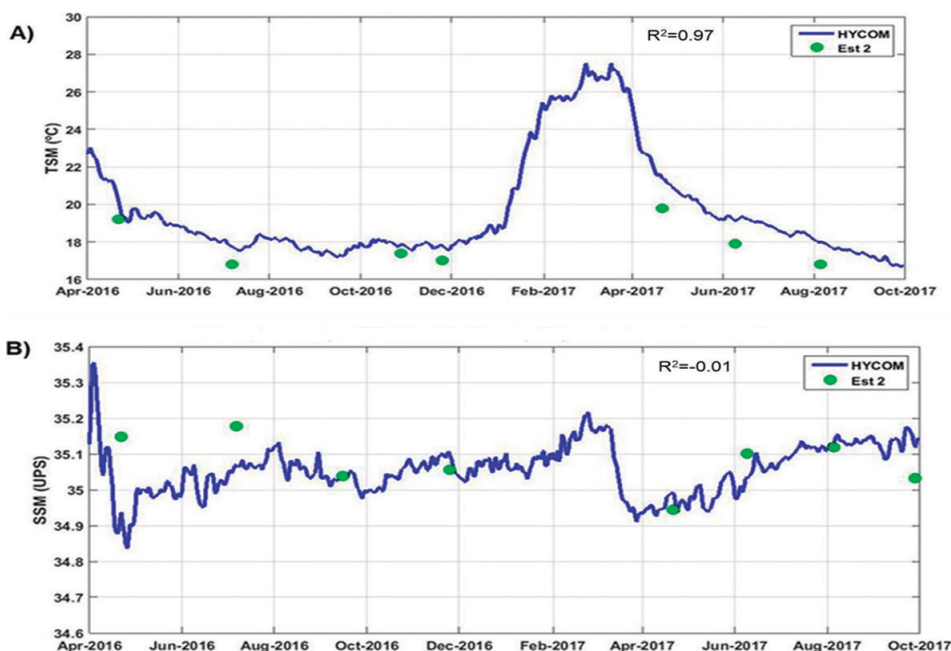


Figura 5.- Variación de la TSM (A) y SSM (B) a 10 mn (estación 2) de acuerdo a datos HYCOM durante 2016-2017 frente a Lambayeque. Los símbolos verdes corresponden a las mediciones *in situ*

Figure 5. Variation of SST (A) and SSM (B) at 10 nm (station 2) off Lambayeque, according to HYCOM data between 2016-2017. Green symbols correspond to *in situ* measurements

Abundancia y distribución de *Centropages brachiatus*

Frente a Lambayeque se determinó presencia de *C. brachiatus* de marzo a noviembre del 2016 y su ausencia durante muestreos realizados entre abril y noviembre 2017 (Fig. 7 A). El 2016, las concentraciones más altas se registraron tanto en marzo como en setiembre, principalmente dentro de las 10 mn. En marzo su presencia fue asociada a una TSM promedio de 21,9 °C, con anomalía térmica de +1,6 °C y salinidad promedio de 35,115 ups (Fig. 6). Durante setiembre estuvo asociada a la TSM promedio de 16,7 °C (anomalía térmica de +0,1 °C) y salinidad promedio de 35,056 ups. Durante el 2017 no se registraron individuos de *C. brachiatus* en su estado adulto o estadios de desarrollo más temprano (copepoditos).

A 10 mn frente a Chicama, se observó *C. brachiatus* durante todo el 2016, registrando sus concentraciones más altas en octubre y noviembre, alcanzando el máximo de 215.478 ind.100 m⁻³ (Fig. 7 B), asociado a TSM, entre 17,6 y 17,9 °C y concentraciones salinas de 34,997 a 35,038 ups (Fig. 6). En enero 2017 también se detectó, para luego desaparecer de los registros en esa estación costera entre febrero y octubre; nuevamente se determinó hacia fines de noviembre, pero en bajas concentraciones.

De febrero a mayo 2017, frente a Chicama se registraron otras especies indicadoras de masas de agua, como *Centropages furcatus* (AES), *Acartia danae* y *Oncaea conifera* (ASS). También se observaron frente a Lambayeque, principalmente en abril y junio, donde *C. furcatus* estuvo presente muy cerca de la costa (dentro de 5 mn). *A. danae*, *O. conifera* y *Mecynocera clausii*, se identificaron entre abril y setiembre.

Abundance and distribution of *Centropages brachiatus*

The presence of *C. brachiatus* was determined off Lambayeque from March to November 2016 and its absence occurred during sampling between April and November 2017 (Fig. 7 A). In 2016, the highest concentrations were recorded in both March and September, mainly within 10 nm. Its occurrence in March was associated with a mean SST of 21.9 °C, with a thermal anomaly of +1.6 °C and a mean salinity of 35.115 PSU (Fig. 6). In September, it was associated with a mean SST of 16.7 °C (thermal anomaly of +0.1 °C) and a mean salinity of 35.056 PSU. No individuals of *C. brachiatus* in their adult stage or earlier developmental stages (copepodites) were recorded in 2017.

In 2016, *C. brachiatus* was observed at 10 nm off Chicama, recording its highest concentrations in October and November, reaching a maximum value of 215,478 ind.100 m⁻³ (Fig. 7 B), associated with SST between 17.6 and 17.9 °C, and haline concentrations between 34.997 and 35.038 PSU (Fig. 6). It was observed in January 2017 and then disappeared from the records at that coastal station between February and October. It was again recorded in low concentrations in late November.

Other water mass indicator species, such as *Centropages furcatus* (ESW), *Acartia danae*, and *Oncaea conifera* (SSW) were recorded off Chicama between February and May 2017. They were also observed off Lambayeque, mainly in April and June, where *C. furcatus* was present, even very nearshore (within 5 nm). Meanwhile, *A. danae*, *O. conifera*, and *Mecynocera clausii* were identified between April and September.

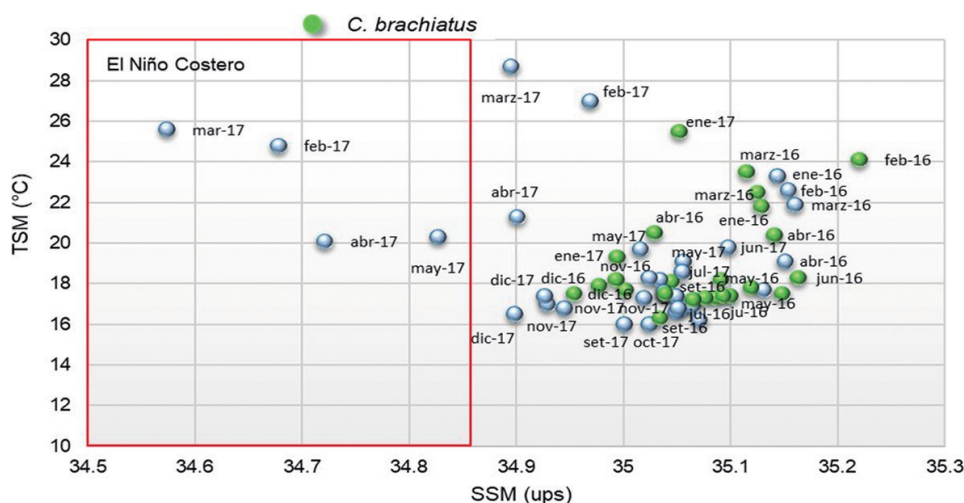


Figura 6.- Presencia de *C. brachiatus* asociada a la TSM y SSM durante 2016-2017 frente a Lambayeque y Chicama. Los símbolos verdes indican presencia de *C. brachiatus* y los símbolos azules, muestras de zooplancton sin presencia de *C. brachiatus*

Figure 6. Presence of *C. brachiatus* associated with SST and SSS between 2016-2017 off Lambayeque and Chicama. Green symbols indicate presence of *C. brachiatus* and blue symbols indicate zooplankton samples without presence of *C. brachiatus*

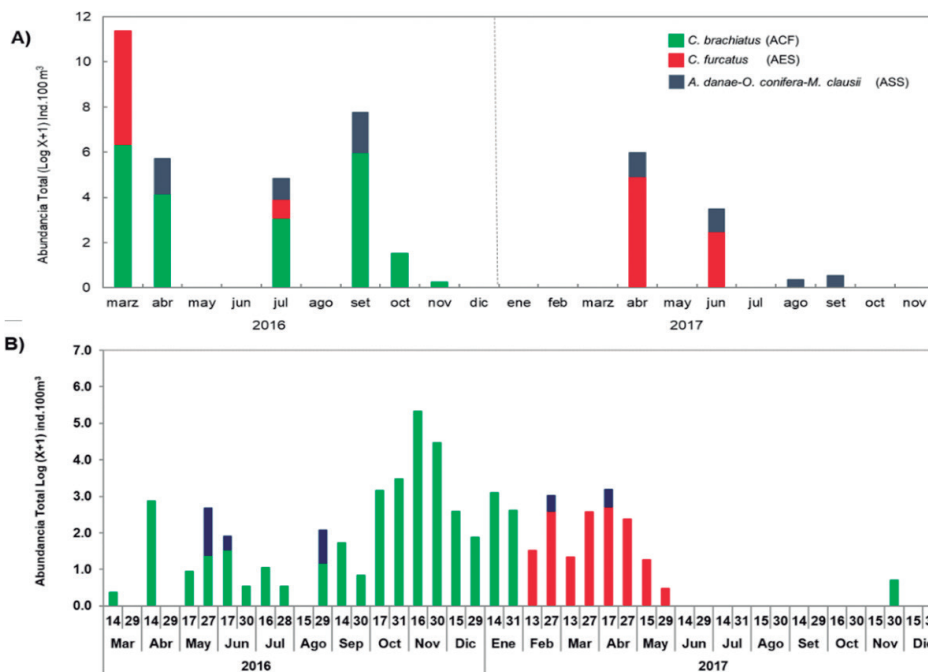


Figura 7.- Abundancia promedio de *Centropages brachiatus* (ACF) y especies indicadoras de AES y ASS frente a Lambayeque (A) (los meses sin barras indican ausencia de muestreos) y a Chicama (B) los meses sin barras indican la ausencia de indicadores. 2016-2017

Figure 7. Mean abundance of *Centropages brachiatus* (CCW) and ESW AND SSW indicator species off Lambayeque (A) (months without bars indicate absence of sampling) and Chicama (B) months without bars indicate absence of indicators. 2016-2017

4. DISCUSIÓN

Alteraciones de la TSM y la SSM frente a San José y Chicama durante ENC 2017

Durante el primer trimestre del 2016, las condiciones imperantes cerca de la costa fueron de un típico evento El Niño. Hubo intromisión de aguas cálidas en la costa de Lambayeque, con anomalías de la TSM que variaron entre 1,0 y 2,8 °C, debido al impulso recibido por las continuas ondas Kelvin desde fines del 2015 (CASTRO *et al.*, 2019).

El efecto de ENC 2017 sobre las condiciones oceanográficas frente al litoral de Lambayeque se reflejó en el predominio de anomalías positivas de TSM durante los primeros meses del año (Fig. 3). Ello como consecuencia de la intromisión de ASS y AES, replegando las ACF muy cerca de la costa o reemplazándola totalmente. En la segunda mitad del año se restablecieron las condiciones neutras y las frías hacia fines de año, asociadas al evento La Niña de intensidad débil (CASTRO *et al.*, 2020).

Si bien no se realizaron muestreos en los tres primeros meses del 2017 frente a Lambayeque, período principal de la ocurrencia de ENC 2017, los datos de TSM de la estación San José indican que las anomalías

4. DISCUSSION

SST and SSS alterations off San José and Chicama during 2017 CEN

Nearshore conditions were typical of El Niño during the first quarter of 2016. There was warm water intrusion on the Lambayeque coast, with SST anomalies ranging between 1.0 and 2.8 °C, due to the boost received from the continuous Kelvin waves since late 2015 (CASTRO *et al.*, 2019).

Over the first months of the year, the effect of 2017 CEN on oceanographic conditions off the Lambayequean coast was reflected in the predominance of positive SST anomalies (Fig. 3), resulting from the intrusion of SSW and ESW, which retracted the CCW very nearshore or completely replaced it. Neutral and cold conditions were reestablished in late 2017, associated with a weak La Niña event (CASTRO *et al.*, 2020).

No sampling was conducted off Lambayeque in the first quarter of 2017, which was the main period of the 2017 CEN occurrence, but SST data from the San José station indicate that the daily thermal anomalies in the summer were the highest of the entire study period. On the other hand, the lowest salinity

térmicas diarias en el verano fueron las más altas de todo el período estudiado. Mientras, los valores de salinidad más bajos se registraron entre febrero y abril (Figs. 4, 5). Durante el Crucero 1703-04 de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos, efectuado entre marzo y abril 2017 por IMARPE, se reportaron condiciones oceanográficas cálidas frente a la costa y se registró anomalía térmica promedio de +3 °C en la franja costera frente a Pimentel (IMARPE, 2017).

Así mismo, el análisis de datos obtenidos con el modelo HYCOM, corroboran las alteraciones en la TSM y SSM durante ENC 2017 frente a Lambayeque. En la estación costera de Chicama, se registró también el aumento anómalo de TSM, desde la segunda quincena de enero hasta mayo. Los valores más bajos de SSM se registraron entre febrero - abril (Fig. 6). Estas observaciones evidencian la intensidad de cambios en las condiciones oceanográficas físicas en la zona costera entre San José y Chicama a consecuencia de la ocurrencia de El Niño Costero 2017.

Ausencia de *Centropages brachiatus* como indicador del impacto ecológico de ENC 2017 en las aguas superficiales

C. brachiatus es una de las especies más frecuentes y abundantes de la costa peruana. En la zona marino costera de Lambayeque fue reportada por diferentes estudios (GUTIÉRREZ *et al.*, 2005; TORRES y CASTRO, 2009; CASTRO *et al.*, 2015).

No se pudo determinar la composición de la comunidad zooplanctónica entre diciembre 2016 y marzo 2017 frente a Lambayeque, su análisis en la estación oceanográfica fija en Chicama evidencia la desaparición de *C. brachiatus* durante ENC 2017, que sucedió desde febrero hasta fines de noviembre 2017, coincidiendo con observaciones en Lambayeque, ante la ausencia de la especie entre abril y octubre de ese año, a pesar de la normalización y enfriamiento anómalo de las condiciones superficiales en primavera. Otros monitoreos de condiciones oceanográficas y biológico pesqueras en la costa también evidenciaron su ausencia en la estación oceanográfica costera frente a Paita durante todo el 2017 (ENFEN, 2017a, b). Sin embargo, dichos informes señalan la presencia de otro copépodo indicador de ACF, como es *Eucalanus inermis*, en las estaciones costeras de Paita y Chicama a partir de junio 2017, que también fue observado frente a Lambayeque en octubre y noviembre.

AYÓN *et al.* (1999) indicaron que *C. brachiatus*, en condiciones normales, se distribuye desde Paita (5°S) hasta Ilo (18°S) dentro de las 30 millas de distancia a la costa, basados en observaciones sobre la especie

values were recorded between February and April (Figs. 4, 5). Between March and April, during the IMARPE's Hydroacoustic Assessment Cruise 1703-04 for pelagics, warm oceanographic conditions were reported off the coast and a mean thermal anomaly of +3 °C was recorded in the coastal strip off Pimentel (IMARPE, 2017).

Likewise, we corroborated alterations in SST and SSS during 2017 CEN off Lambayeque through the analysis of data obtained with the HYCOM model. The anomalous increase in SST was also recorded at the Chicama coastal station, from mid-January to May. The lowest SST values were recorded between February and April (Fig. 6). Thus, it is evident the intensity of changes in the physical oceanographic conditions in the coastal zone between San José and Chicama resulting from the occurrence of the 2017 coastal El Niño.

Absence of *Centropages brachiatus* as an indicator of the ecological impact of 2017 CEN on surface waters

C. brachiatus is one of the most frequent and abundant species of the Peruvian coast which has been reported by different studies in the coastal marine zone of Lambayeque (GUTIÉRREZ *et al.*, 2005; TORRES & CASTRO, 2009; CASTRO *et al.*, 2015).

Between December 2016 and March 2017, the composition of the zooplankton community could not be determined off Lambayeque. Its analysis at the fixed oceanographic station in Chicama evidences the disappearance of *C. brachiatus* during 2017 CEN, which occurred from February to late November 2017. This coincided with observations in Lambayeque, due to the absence of the species between April and October of that year, despite the normalization and anomalous cooling of surface conditions in the area in spring. Its absence was also evidenced by other monitoring of oceanographic and biological fishery conditions on the coast at the coastal oceanographic station off Paita in 2017 (ENFEN, 2017a, b). However, these reports indicate the presence of another CCW indicator, the copepod *Eucalanus inermis*, in the coastal stations of Paita and Chicama from June 2017. *E. inermis* was also observed off Lambayeque in October and November.

AYÓN *et al.* (1999), based on observations of the species between 1996 and 1999, indicated that under normal conditions, *C. brachiatus* is distributed from Paita (5°S) to Ilo (18°S) within 30 miles offshore. GUTIÉRREZ *et al.* (2005) reported the usual presence of the species off Lambayeque under normal conditions, and its decrease in abundance and frequency during warm periods, mainly during EN 1997-1998.

entre 1996 y 1999. Frente a Lambayeque GUTIÉRREZ *et al.* (2005), reportaron la presencia usual de la especie en condiciones normales y, su disminución en abundancia y frecuencia en los períodos cálidos, principalmente durante EN 1997-1998.

La ausencia de *C. brachiatus* también fue reportada por AYÓN *et al.* (1999) durante El Niño 1997-1998. En dicho estudio, asociado a la influencia de AES y ASS, mostró disminución progresiva de su población, en Paita, Chimbote y luego hacia el sur. Primero desapareció frente a Paita en noviembre 1997 y, en toda la costa en enero 1998. Se registraron nuevamente individuos (copepoditos) a partir de agosto del mismo año. Ello evidenció que no fue trasladada a otras zonas y posiblemente alguna de sus estrategias de desarrollo, como la diapausa, favoreció su sobrevivencia una vez reconstituidas las condiciones normales para su desarrollo.

Para *C. brachiatus*, como para muchas otras especies de copépodos calanoides, la diapausa es un proceso crítico en su ciclo de vida, que les permite sobrevivir largos períodos de condiciones ambientales desfavorables y es una de las estrategias mediante la cual mantienen su abundancia en el ecosistema marino (BAUMGARTNER & TARRANT, 2017). CHEN & MARCUS (1977) afirman que al desovar algunos calanoideos depositan sus huevos en el lecho marino, donde permanecen en estado de diapausa hasta que las condiciones del medio sean propicias para su desarrollo. Así, la eclosión de los huevos de *C. brachiatus* estaría relacionada al desarrollo de condiciones favorables de temperatura y salinidad.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La intensidad de El Niño Costero 2017 con características particulares, así como anomalías extremas de algunos parámetros oceanográficos (temperatura y salinidad) impactó significativamente a la población de *C. brachiatus* frente al litoral de Lambayeque y Chicama, provocando su desaparición en las aguas costeras hasta noviembre 2017 inclusive, varios meses después de finalizado el evento.

Considerando la importancia ecológica de *C. brachiatus* como componente de comunidades zooplanctónicas, además de ser bioindicador de ACF, es necesario profundizar los estudios referidos a su ciclo de vida a la par de otros parámetros: producción, crecimiento, alimentación y mortalidad en el ecosistema marino frente a Lambayeque y, en general, en la costa peruana.

During El Niño 1997-1998, the absence of *C. brachiatus* was also reported by AYÓN *et al.* (1999). This study showed a progressive decrease in its population, associated with the influence of ESW and SSW in Paita, Chimbote, and then towards the south. First, it disappeared off Paita in November 1997 and along the entire coast in January 1998. Individuals (copepodites) were recorded again in August of the same year. Thus, it was evidenced that it was not moved to other areas. Possibly some of its development strategies, such as diapause, favored its survival once the normal conditions for its development had been reconstituted.

Diapause is a critical process in the life cycle of *C. brachiatus*, allowing them to survive long periods of unfavorable environmental conditions and is one of the strategies by which they maintain their abundance in the marine ecosystem (BAUMGARTNER & TARRANT, 2017). CHEN & MARCUS (1977) state that upon spawning some calanoids deposit their eggs on the seabed, where they remain in a state of diapause until the environmental conditions are conducive to their development. Therefore, favorable conditions of temperature and salinity would be related to the hatching of the *C. brachiatus* eggs.

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The *C. brachiatus* population was significantly impacted by the intensity of the 2017 coastal El Niño, as well as by the extreme anomalies of some oceanographic parameters (temperature and salinity) off the coast of Lambayeque and Chicama. This resulted in its disappearance from the coastal waters up to November 2017, several months after the end of the event.

Further studies on its life cycle and other parameters such as production, growth, feeding, and mortality in the marine ecosystem off Lambayeque and, in general, on the Peruvian coast are needed, considering the ecological importance of *C. brachiatus* as a component of zooplankton communities, in addition to being a CCW bio-indicator.

Acknowledgments

We would like to thank Dr. Dimitri Gutiérrez for his corrections, suggestions, and valuable comments on this article.

Agradecimientos

Agradecimiento especial al Dr. Dimitri Gutiérrez por sus correcciones, sugerencias y comentarios valiosos al presente artículo.

6. REFERENCIAS / REFERENCES

- ALVARIÑO. 1957. Siphonophores of the Pacific with a review of World distribution. Bull Scripps Inst. Ocean. 16: 1-364.
- ARNTZ W, FAHRBACH E. 1996. El Niño: experimento climático de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, México. 312 pp.
- AYÓN P, ZARATE M, ARONÉS K. 1999. Variaciones en el comportamiento del copépodo Calanoideo *Centropages brachiatus* (Dana, 1849), frente a la costa peruana durante el evento El Niño 97-98. Libro de resúmenes ampliados Tomo II. VIII COLACMAR, 17-21 octubre de 1999.
- BALECH E, FERRANDO H. 1964. Fitoplancton marino. EUDEBA Manuales. Buenos Aires, Argentina. 154 pp.
- BAUMGARTNER M, TARRANT A. 2017. The Physiology and Ecology of Diapause in Marine Copepods. (En línea). Disponible en: https://www.ucm.es/data/cont/docs/24-2013-11-20-APA_Normas_resumen.pdf
- BOLTOVSKOY D. 1999. South Atlantic Zooplankton. Backus Publishers, Leiden. 11: 1-868; 12: 869-1706.
- BOWMAN T, GRUNER H. 1973. The families and genera of Hyperiididae (Crustacea: Amphipoda). Smithsonian Contributions to Zoology. 146: 2-72.
- CARRASCO S, SANTANDER H. 1987. The El Niño Event and its Influence on the Zooplankton off Perú. Journal of Geo. Research. 92(C13): 14,405-14,410.
- CASTRO J, BANCES S, TORRES D. 2015. Condiciones bio-oceanográficas en San José, islas Lobos de Afuera, Perú, 2010. Inf Inst Mar Perú. 42(3): 282-292.
- CASTRO J, TORRES D, BANCES S. 2019. Condiciones bio-oceanográficas en San José, islas Lobos de Afuera, Lambayeque, Perú, durante el 2016. Inf Inst Mar Perú. 46(3): 397-425.
- CASTRO J, TORRES D, BANCES S. 2020. Condiciones bio-oceanográficas en San José, islas Lobos de Afuera, Lambayeque, Perú, durante el 2017. Inf. In. Inst. Mar Perú.
- CHEN F, MARCUS N. 1977. Subitaneous, diapause, and delayed - hatching egg of planktonic copepods from the northern Gulf of Mexico: Morphology and hatching success. Marine Biology. 127: 587-598.
- CLARK D, AAZEM K, HAYS G. 2001. Zooplankton abundance and community structure over a 4000 km transect in north-east Atlantic. J. Plankton Res. 23: 365-372.
- CONOVER R. 1988. Comparative life histories in the genera *Calanus* and *Neocalanus* in high latitudes of the northern hemisphere. En: Biology of Copepods. G. A. Boxshall & H.K. Schminke (eds.). Kluwer Academic Publishers. Hidrobiología 167-168: 127-142.
- CORREA D, CASTAÑEDA J, CASTRO J, RAMIREZ P, DE LA CRUZ J, BANCES S, TORRES D. 2021. Impacto de El Niño Costero 2017 sobre el ambiente marino y la pesca artesanal (lisa, cabrilla y cachema) y recursos costeros de Lambayeque. Bol Inst Mar Perú. 36(2): 510-523.
- ENFEN. 2012. Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica.
- ENFEN. 2017a. Informe de las Condiciones Oceanográficas y Biológico Pesqueras, mayo 2017. Disponible en: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_gti_mens_mayo2017.pdf
- ENFEN. 2017b. Informe de las Condiciones Oceanográficas y Biológico Pesqueras, junio 2017. Disponible en: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_gti_mens_junio2017.pdf
- ESPIÑOZA-MORRIBERÓN D, ECHEVIN V, COLAS F, DÍAZ E, TAM J, ANCULLE T, LEDESMA J, GUTIÉRREZ D. 2021. Diferencias entre los impactos en la costa peruana de los eventos ENSO cálidos y de El Niño Costero 2017: Vientos, afloramiento, productividad y anchoveta. Bol Inst Mar Perú. 36(2): 329-348.
- GIRALDO A, GUTIÉRREZ E. 2007. Composición taxonómica del zooplancton superficial en el Pacífico colombiano (setiembre 2003). Invest. Mar. Valparaíso. 35(1): 117-122.
- GONZÁLEZ A, MARÍN V. 1998. Distribution and life cycle of *Calanus chilensis* and *Centropages brachiatus* (Copepoda) in Chilean coastal waters: a GIS approach. Mar Ecol Prog Ser. 165: 109-117.
- GUTIÉRREZ D, ARONÉS K, CHANG F, QUIPUZCOA L, VILLANUEVA P. 2005. Impacto de la variación oceanográfica estacional e interanual sobre los ensamblajes de Microfitoplancton, mesozooplancton, ictioplancton y macrozoobentos de dos áreas costeras del norte del Perú entre 1994 y 2002. Bol Inst Mar Perú. 22(1-2): 1-60.
- IMARPE. 2017. Informe Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos Crucero1703-04. Disponible en: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/EvaluacionHidroacusticaRecPelagi_cosCrucero170304.pdf
- MANN R. 1986. Sampling of bivalve larvae. North Pacific workshop on stock assessment and management of invertebrates (ed. G. S. Jamieson and N. Bourne) Can. Spec. Publ. Rish. Aquat. Sci. 92, 107-116.
- MORI T. 1964. The pelagic Copepoda from the neighboring waters of Japan. 2nd edition. Soyo, Tokio. 1 - 150.
- QUESADA M, MORALES A. 2006. Posible efecto de El Niño en el zooplancton no gelatinoso del Golfo Dulce, Pacífico de Costa Rica, 1997-1998. Rev. Biol. Trop. 54: 225-240.
- QUISPE-CCALLAURI C, CHAMORRO A, ARELLANO C, TAM J. 2021. Comparación de Ondas de Kelvin Ecuatoriales y Ondas Atrapadas a la Costa ocurridas durante El Niño 2015-16 y durante El Niño Costero 2017 frente a Perú: simulaciones y observaciones. Bol Inst Mar Perú. 36(2): 349-361.
- ROBERTSON A. 1970. An improved apparatus for determining plankton volume. Fish. Bull. South-Afrika. 6(1): 23-26.
- SANTANDER H, SANDOVAL DE CASTILLO O. 1981. Algunos indicadores del ictioplancton. P 89-103. En Memorias del Seminario sobre Indicadores Biológicos del Plancton. UNESCO. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América latina y El Caribe, Montevideo, Uruguay.
- SINCLAIR M. 1988. Marine populations. An essay on population regulation and speciation. University of Washington Press. Seattle. pp. 252.
- TORRES D, CASTRO J. 2009. Cambios en la composición del zooplancton relacionados con las variaciones oceanográficas frente a Lambayeque durante marzo y diciembre 2009. En: II congreso de Ciencias del Mar del Perú. Piura - Perú. 300-301 pp.
- VIDAL J. 1968. Copépodos calanoideos epipelágicos de la Expedición MARCHILE. Gayana Instituto Central de Biología. 3 -98.